

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-122898

(43)Date of publication of application : 26.04.2002

(51)Int.Cl.

G02F 1/37
 A61B 18/20
 G01B 9/02
 G02B 19/00
 G02B 21/06
 G03F 7/20
 H01L 21/027
 H01S 3/109

(21)Application number : 2001-194176

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 27.06.2001

(72)Inventor : HARADA MASAKI

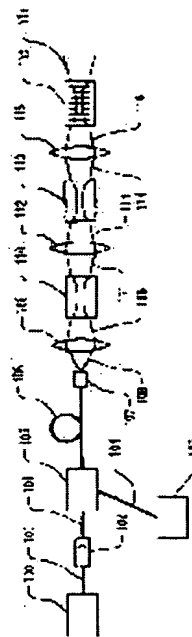
(30)Priority

Priority number : 2000196330 Priority date : 29.06.2000 Priority country : JP

(54) COHERENT LIGHT SOURCE, SEMICONDUCTOR EXPOSURE DEVICE, LASER THERAPY EQUIPMENT,
 LASER INTERFEROMETER AND LASER MICROSCOPE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a coherent light source for UV light which is high in efficiency and simple in device constitution.
 SOLUTION: The light of a wavelength 1,554 nm emitted from a semiconductor laser 100 is amplified by an erbium-doped fiber 106 and is made incident on a nonlinear optical crystal LBO 110 by a lens 109 and the light 111 of a wavelength 772 nm which is a second optical harmonic is generated. The light 111 of the wavelength 772 nm is condensed to a nonlinear optical crystal LBO 113 by a lens 112 and is converted into a light of a wavelength 386 nm by second optical harmonic generation. The light 114 of a wavelength 386 nm is condensed to a pseudo phase matching crystal 116 by a lens 115 and is converted to the light 111 of a wavelength 193 nm by second optical harmonic generation. When the pseudo phase matching of first order is attempted to be carried out in this case, the period of polarization inversion is about 0.95 μm . In this case, too, there is no Walk-Off effect and the second optical harmonic generation of good beam quality with high efficiency is possible.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.02.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
 examiner's decision of rejection or application
 converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

BEST AVAILABLE COPY

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-122898
(P2002-122898A)

(43) 公開日 平成14年4月26日 (2002. 4. 26)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テ-マコード* (参考) |
|--------------------------------------|------|---------------|-----------------|
| G 0 2 F 1/37 | | G 0 2 F 1/37 | 2 F 0 6 4 |
| A 6 1 B 18/20 | | G 0 1 B 9/02 | 2 H 0 5 2 |
| G 0 1 B 9/02 | | G 0 2 B 19/00 | 2 H 0 9 7 |
| G 0 2 B 19/00 | | 21/06 | 2 K 0 0 2 |
| 21/06 | | G 0 3 F 7/20 | 5 0 2 4 C 0 2 6 |
| 審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁) 最終頁に続く | | | |

(21) 出願番号 特願2001-194176 (P2001-194176)

(22) 出願日 平成13年6月27日 (2001. 6. 27)

(31) 優先権主張番号 特願2000-196330 (P2000-196330)

(32) 優先日 平成12年6月29日 (2000. 6. 29)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 原田 昌樹

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100094846

弁理士 細江 利昭

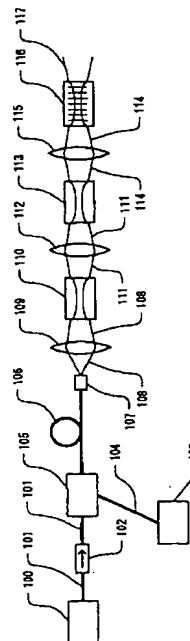
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コヒーレント光光源、半導体露光装置、レーザ治療装置、レーザ干渉計装置、レーザ顕微鏡装置

(57) 【要約】

【課題】 高効率で装置構成が簡単な紫外光のコヒーレント光光源を提供する。

【解決手段】 半導体レーザ100から出射された波長1554nmの光は、エルビウムドープファイバー106によって増幅され、レンズ109によって非線形光学結晶LBO110に入射され、第二光高調波である波長772nmの光111が発生する。波長772nmの光111は、レンズ112により非線形光学結晶LBO113に集光され、第二光高調波発生により波長386nmの光に変換される。波長386nmの光114は、レンズ115により水晶の擬似位相整合結晶116に集光され、第二光高調波発生により波長193nmの光117に変換される。その場合1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期は、約0.95μmである。この場合も、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 レーザ光源と、周期的な双晶構造を持つ水晶よりなる擬似位相整合器とを有してなり、前記擬似位相整合器により、前記レーザ光源より放出されるレーザ光の第二光高調波を発生させ、この第二光高調波であって波長が約157nm又は約193nmの光を主成分とする光を出力とすることを特徴とするコヒーレント光光源。

【請求項 2】 前記擬似位相整合器が 3 次の擬似位相整合を用いていることを特徴とする請求項 1 に記載のコヒーレント光光源。

【請求項 3】 請求項 1 又は請求項 2 に記載のコヒーレント光光源を光源とする半導体露光装置。

【請求項 4】 請求項 1 又は請求項 2 に記載のコヒーレント光光源を光源とするレーザ治療装置。

【請求項 5】 請求項 1 又は請求項 2 に記載のコヒーレント光光源を光源とするレーザ干渉計装置。

【請求項 6】 請求項 1 又は請求項 2 に記載のコヒーレント光光源を光源とするレーザ顕微鏡装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、コヒーレント光光源及びこの光源を用いたレーザ応用装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、220nm以下の波長のレーザ光源には、ArF エキシマレーザが用いられてきた。しかし、ArF エキシマレーザは、連続波発振が不可能である。そして、パルス発振を行った場合、繰り返し周波数を大きくすることができないため、1パルスあたりのエネルギーが大きくなり、光学部品の損傷が生じやすい。また、有毒なフッ素ガスを使用するためレーザのメンテナンスが煩雑でかつ費用が高額となる。

【0003】 そして、ガスを使用し、また消費電力も大きい装置全体も大型となってしまう。さらに、レーザ発振波長の狭帯域化が困難でありコヒーレンス長も短く、空間モードの品質が悪いなどの問題点がある。ArF エキシマレーザは、これらの問題点のため、その用途が限定されてきた。

【0004】 ArF エキシマレーザを使用せず、固体レーザと非線形光学結晶の組み合わせにより、ArF エキシマレーザと同じ波長約193nmの光源を得る試みもなされている。固体レーザの場合には原理上連続波発振も可能であり、またパルス発振の場合、高繰り返し発振が可能である。そして、エキシマレーザよりも波長を狭帯域化することができ、空間モードの品質も良い。

【0005】 固体レーザを用いた波長193nmの光源の一例として、Nd:YAGレーザ (Nd:Y, Al, O_{1.1}) とチタンサファイアレーザ (Ti:Al₂O₃) との和周波混合によるものが考えられる。これらを用いた波長約193nmのレーザ光源の構成の例を図8に示す。

【0006】 図8において、レーザダイオードまたはフラッシュランプ励起のパルスNd:YAGレーザ700からの波長1064nmの光701を、レンズ702で非線形光学結晶LiBO (LiB₃O₃) 703に集光する。これにより、波長1064nmの光701の一部は、その第二光高調波である波長532nmの光に変換される。これにより非線形光学結晶LiBO 703からの出力光704は、波長1064nmの光と波長532nmの光が混合したものとなる。その波長532nmの光の一部は、部分反射ミラー705によって45度反射され、さらに、全反射ミラー711により45度反射される。

【0007】 一方、波長1064nmの光と波長532nmの光からなる光706は、レンズ707により、非線形光学結晶LiBO 708に集光される。光706の一部は、非線形光学結晶LiBO 708において、波長1064nmの光と波長532nmの光との和周波混合により波長355nmの光に変換される。光709中の波長355nmの光は、レンズ710により非線形光学結晶CLBO (CsLiB₆O₁₀) 726と非線形光学結晶CLBO 733に集光される。ここで、部分反射ミラー721には、波長1064nmの光に対して高透過、波長355nmの光に対して45度高反射となるようなコーティングが施してある。

【0008】 レーザ光712はレンズ713により集光され、凹面ミラー714、717と波長選択素子715とチタンサファイア結晶 (Ti:Al₂O₃) 716からなるチタンサファイアレーザを励起する。ここで、凹面ミラー714には、波長532nmで高透過、波長704nmで高反射となるコーティングが施されている。一方、凹面ミラー717は、波長704nmで部分反射となるコーティングが施されている。チタンサファイアレーザは、波長704nmで発振するように波長選択素子715を調整してある。

【0009】 レーザ共振器から出射された波長704nmの光718は、レンズ719によって非線形光学結晶CLBO 726に集光される。ミラー724は、波長704nmの光とミラー721によって折り曲げられた波長355nmの光を同軸上で合波する役割をする。合波された光725が、非線形光学結晶CLBO 726の和周波混合作用により波長236nmの光727に変換される。これをレンズ728により非線形光学結晶CLBO 733に集光する。

【0010】 ここで、ミラー729は、波長236nmの光に対して45度高反射となるようなコーティングが施されている。また、ミラー731は波長236nmで45度高反射、波長1064nmで高透過となるようなコーティングが施されている。ミラー731によって、波長1064nmの光と波長236nmの光が同軸上に合波される。

【0011】 合波された光732は、非線形光学結晶CLBO 733での和周波混合により、波長193nmの光734に変換される。この例の場合、レーザ光源700にはNd:YAGレーザを用いたが、Nd:YLF (Nd:YLi

F₁) レーザ、Nd:YVO₄ レーザでもよい。その場合、チタンサファイアレーザの発振波長を調節することで、Nd:YAGレーザの場合と同様に波長193nmの光を得ることができる。

【0012】固体レーザを光源として和周波混合により波長193nmの光を発生させる別の一例として、Nd:YAGレーザとオブティカルパラメトリック共振器によって構成されるものが考えられる。このような光源の構成例を図9に示す。

【0013】図9において、Nd:YAGレーザ800から出射される波長1064nmの光801は、レンズ802によって非線形光学結晶LBO807、非線形光学結晶LBO813に集光される。ここでミラー803は、波長1064nmの光に対してハーフビームスプリッターとなるようなコーティングが施されている。そして、ミラー804は、波長1064nmの光に対して45度高反射となるようなコーティングが施されている。

【0014】レーザ光805は、凹面ミラー806、808と非線形光学結晶LBO807からなるオブティカルパラメトリック共振器に入射される。ここで、凹面ミラー806は、波長1064nmの光に対して高透過、波長2055nmの光に対して高反射となるようなコーティングが施されている。そして、凹面ミラー808は、波長2055nmの光に対して部分反射となるようなコーティングが施されている。このオブティカルパラメトリック共振器は、非線形光学結晶LBO807のカット角を調整することで、波長2055nmの光をアイドル光として発振できるようになっている。

【0015】波長2055nmの光809は、レンズ810によって非線形光学結晶LBO824に集光される。ここで、ミラー811には、波長2055nmの光に対して45度高反射となるようなコーティングが施されている。また、ミラー822には、波長2055nmの光に対して45度高反射、波長213nmの光に対して高透過となるようなコーティングが施されている。

【0016】一方、波長1064nmの光812の一部は、非線形光学結晶LBO813での第二光高調波発生により、波長532nmの光に変換される。光814中の波長532nmの光は、レンズ815により非線形光学結晶BBO(β-BaB₂O₄)816に集光され、第二光高調波発生により波長266nmの光に変換される。波長1064nmの光と波長266nmの光からなる光817は、レンズ818によって非線形光学結晶BBO819に集光され、和周波混合により波長213nmの光820に変換される。

【0017】光820は、レンズ821によって非線形光学結晶LBO824に集光される。ミラー822によって合波された波長2055nmの光と波長213nmの光823は、和周波混合により波長193nmの光825に変換される。

【0018】また、フラッシュランプ励起の波長可変ア

レキサンドライトレーザ(Be₂Al₂O₄)からの波長772nmの光を非線形光学結晶で波長変換することで、波長193nmの光を発生させることができる。この光源の構成例を図10に示す。

【0019】図10において、アレキサンドライトレーザは、凹面ミラー900、905とレーザ結晶904と励起用フラッシュランプ902と波長選択素子901とQスイッチなどのパルス化素子916から構成され、パルス発振を行う。ここで、凹面ミラー900、905はそれぞれ、波長772nmの光に対して高反射、部分反射となるようなコーティングが施されている。また、レーザは波長選択素子901により発振波長を772nmとしてある。レーザから出射された波長772nmの光906は、集光レンズ907により非線形光学結晶LBO908に集光される。

【0020】波長772nmの光906の一部は、非線形光学結晶LBO908における第二光高調波発生により波長386nmの光909に変換される。波長772nmと波長386nmの光からなる光909は、レンズ910により非線形光学結晶BBO911に集光される。光909の一部は、非線形光学結晶BBO911の和周波混合作用により波長257nmの光に変換される。波長772nmの光と波長386nmの光と波長257nmの光とからなる光912は、レンズ913によって非線形光学結晶914に集光される。非線形光学結晶914は、波長772nmの光と波長257nmの光の和周波混合により波長193nmの光915を発生する。

【0021】

【発明が解決しようとする課題】以上に示したように、従来例では、波長変換の最終段に必ず和周波混合を用いている。しかしながら、和周波混合($\omega_1 + \omega_2 \rightarrow \omega_3$ 、ここで ω_1 、 ω_2 、 ω_3 は光の周波数、 $\omega_3 \neq \omega_1 \neq \omega_2$)では、入射するレーザ光の2つの波長(または周波数)が異なるため、それらレーザ光の空間的重なりが悪くなり、第二光高調波発生($\omega + \omega \rightarrow 2\omega$ ここで ω は光の周波数)よりも変換効率が小さくなる。その理由を図11を用いて説明する。

【0022】図11は、非線形結晶中での入射波の伝播を示したものである。ここで、1000は非線形光学結晶、光1001は周波数 ω_1 の光、光1002は周波数 ω_2 の光である($\omega_1 > \omega_2$)。光1001、1002はTEM00モードのガウシアンで、それぞれ別々のレンズでビームウエスト径Dが同じになるように集光したとしても、周波数の大きい光1001の方の発散角が小さくなってしまふ。したがって、非線形光学結晶中での入射光がオーバーラップしていない斜線部分は波長変換に寄与せず、高調波への変換効率が小さくなる。第二光高調波発生の場合は、1つの波長から変換されるのでこのような問題はない。

【0023】また、図10のような構成の場合、非線形光学結晶BBOの吸収端は190nm程度なので、BBOに

よる波長193nmの光の吸収がある。このことは、変換効率、光損傷の点から望ましくない。

【0024】最終段の波長変換を第二光高調波発生にすれば、構成もシンプルになり変換効率が向上し、連続波発生も容易になる。しかし、波長193nmの光を第二光高調波発生できる非線形光学結晶は、SBB0 ($\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$) やKBBF ($\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$) などしか知られていない。これら結晶は、結晶育成が難しく大型の結晶を作りにくいことや構成元素のBeの毒性が強く通常の実験室での結晶成長が困難であるなどの点から、いまだ十分実用に耐えられる品質、大きさを有するものはできあ

っていない。これに加えて、これら結晶では、non-critical位相整合ができないため、Walk-Off効果が生じ、変換効率、ビーム品質が悪い。

【0025】以上の点から、ArFエキシマレーザと同じ波長の193nmを固体レーザの高調波発生で行う方法は、既存の非線形光学結晶を用いる限り和周波混合によるしかなく、このため、この方法がArFエキシマレーザにく

らべて広く普及することはなかった。

【0026】さらに、図8のような構成の場合、波長ごとに光を分岐したり合波しなければならないので、ミラーなどの光学系が必要になって装置全体が複雑になり、またそのアライメントの手間が煩雑である。また、波長変換の方式によっては、混合する2波長の光の偏光方向を調節するために、波長板が必要となることもある。

【0027】加えて、従来例ではパルス発振が主で、連続波発振はあまり行われてこなかった。連続波レーザの高調波変換の場合、ピークパワーの大きいパルスレーザに比べて光パワーが小さいため、光共振器で入射波を増幅しなければならない。例えば図8に示す例の場合、最終段の変換において、波長1064nmの光と波長236nmの光に共振する光共振器を組む必要がある。

【0028】しかし、装置が複雑で大きくなり、またアライメントの困難さも増す。そしてこの場合、波長1064nmと波長236nmで高反射、波長193nmで高透過なコーティングが施されたミラーが必要であるが、このようなコーティングの製作も困難である。さらに、このような光共振器が非線形光学結晶ごとに必要なため、固体レーザの和周波による193nm光光源は、あまり現実的ではない。

【0029】本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、新規な第二光高調波発生手段を用いることにより、高効率で装置構成が簡単な紫外光（波長150nm～220nm）のコヒーレント光光源、特にArFエキシマレーザ、F₂エキシマレーザに代わるコヒーレント光光源を提供すること、さらにはこれを光源に使用した各種のレーザ一応用装置を提供することを課題とする。

【0030】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための第1の手段は、レーザ光源と、周期的な双晶構造を持つ水晶よりなる擬似位相整合器とを有してなり、前記擬

似位相整合器により、前記レーザ光源より放出されるレーザ光の第二光高調波を発生させ、この第二光高調波であって波長が約157nm又は約193nmの光を主成分とする光を出力とすることを特徴とするコヒーレント光光源（請求項1）である。

【0031】本手段の骨子は、最終段の光周波数変換装置として周期的な双晶構造を持つ水晶よりなる擬似位相整合器を使用し、この擬似位相整合器により、入力されるレーザ光の第二光高調波を発生させ、この第二光高調波を出力することである。

【0032】非線形光学結晶での第二光高調波発生においては、屈折率分散のため基本波と第二光高調波が結晶中を伝播するにつれて、位相差が現れる。この位相差が π になるまで変換効率が增大するが、位相差がそれ以上大きくなると減少し、この周期で増減する。位相差が π になる距離をコヒーレンス長 L_c と言い、以下の式で表される。

$$L_c = (n_{2\omega} - n_{\omega}) \lambda / 4 \quad \cdots (1)$$

ここで、 λ は波長、 $n_{2\omega}$ は波長 $\lambda/2$ の時の屈折率、 n_{ω} は波長 λ の時の屈折率をそれぞれ表す。通常非線形光学結晶の長さはコヒーレンス長よりもはるかに大きい。そのため、結晶長を有効に使い変換効率をさらに向上させる方法が、2通り行われている。1つは、結晶の複屈折性を利用し $n_{\omega} = n_{2\omega}$ となるように、レーザ光の入射方向（結晶カット角）、偏光方向を調整する方法である。前述した従来例の非線形光学結晶は、この方法を利用している。ただし、第二光高調波変換による波長193nmの光を発生させることができる実用的な結晶は、前述のように現在のところ存在していない。

【0033】もう1つの方法は、コヒーレント長ごとに結晶の分極方向を周期的に反転させ、つまり2倍波の位相を反転させることである。この方法を擬似位相整合法（QPM: Qasai-Phase Matching）と呼ぶ。また、この方法を適用した非線形光学結晶を擬似位相整合結晶（QPM結晶）と呼ぶ。この方法の場合、非線形光学結晶が、第二光高調波として所望の周波数の光を発生できるような複屈折性を有していなくても、必要な周期で分極を反転させることができ、その波長で十分な透過率さえあればよい。また、擬似位相整合による波長変換では、結晶複屈折性を利用しないため、基本波と2倍波の進行方向が異なり変換効率やビーム品質を低下させるWalk-Off効果が起きないという利点がある。

【0034】この擬似位相整合法を実現するための分極反転の周期 d は、下記の式で表される。

$$d = m (n_{2\omega} - n_{\omega}) \lambda / 4 \quad \cdots (2)$$

ここで、 m は次数（整数）、 λ は波長、 $n_{2\omega}$ は波長 $\lambda/2$ の時の屈折率、 n_{ω} は波長 λ の時の屈折率をそれぞれ表す。

【0035】従来、擬似位相整合法における分極の反転は、強誘電体物質に高電界を印加し周期構造を作り込む

ことで行われてきた。そのような物質の代表例として、 $\text{Li}:\text{NbO}_3$ や $\text{Li}:\text{TaO}_3$ などが知られている。しかし、これらは吸収端がそれぞれ320nm、280nmであり、かりに必要な周期構造を作り込むことができて、光吸収のため波長193nmのような紫外光域の光発生を行うことはできなかった。

【0036】しかし最近、常誘電体である水晶(SiO_2)の α - β 相転移温度付近で応力を印加することにより周期的な双晶構造を作り込み、分極の周期的な反転構造を実現させるという、従来とは全く別な方法が考案された(S.Kurimura, et.al 第45回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 28a-SG-18 (1998))。これは、水晶のドフィーネ双晶を利用し、非線形光学定数 d_{11} の符号を周期的に反転させることにより水晶による擬似位相整合結晶を作製する方法である。

【0037】水晶の屈折率を考慮すると、分極反転周期を調節することで、従来困難とされてきた波長が150nm~220nmの紫外光域の第二光高調波であるコヒーレント光を得ることができる。また、水晶の場合、吸収端が150nm程度であり、紫外光吸収は、従来の非線形光学結晶(特にBBO)による場合に比べてほとんどない。また、水晶自体は、生産技術が確立されている物質であり、入手も容易でコストも低く抑えることができる。そして、その機械的特性、化学的性質も光学結晶のなかで最も優れている部類に属する。

【0038】また、従来の非線形光学結晶BBO、CLBOなどに顕著に見られる潮解性もなく、取り扱いの面で非常に有利である。さらに、 d_{11} 係数は、およそ0.3pm/Vであって、一般的な非線形光学結晶にくらべて少し小さい程度であり、十分な変換効率が期待できる。

【0039】本手段で使用する擬似位相整合器に入力されるレーザ光は、どのような発生手段で形成されたものでもよく、また、レーザより発生した光に適当な波長変換を行ったものでもよい。例えば、パルス発振または連続波発振の固体レーザと非線形光学結晶の組み合わせにより発生されたもの、パルス発振または連続波発振の半導体レーザと非線形光学結晶の組み合わせにより発生されたもの、パルス発振または連続波発振の半導体レーザにより発生されたもの、パルス発振または連続波発振の固体レーザと半導体レーザと非線形光学結晶により発生されたものが使用可能である。

【0040】波長が約193nmである光は、現在でもArFエキシマレーザの出力として広く使用されており、波長が157nmの光は、 F_2 エキシマレーザの出力として使用されることがある。よって、本手段は、既存の装置の光学系を変えることなく、ArFエキシマレーザ、 F_2 エキシマレーザの代用として使用することができる。

【0041】前記式(2)に水晶の屈折率を代入すると、分極反転周期を約0.95 μm とすることで、第二光高調波変換による波長193nmの光発生が可能となる。ま

た、分極反転周期を約0.4 μm とすることで、第二光高調波変換による波長157nmの光発生が可能となる。前述のように、水晶の吸収端は150nm程度であるので、第二光高調波も入力される光も、水晶によりほとんど吸収されることがなく、従って高効率の波長変換が可能である。

【0042】なお、本手段及び請求項1において、約157nm、約193nmというのは、出力される光の波長は厳密に157nm、193nmでなくてもよく、現在公知の F_2 エキシマレーザ、ArFエキシマレーザが有する程度の、波長中心値のずれと波長分布を有するものも、本発明の範囲に含まれることを示すものである。

【0043】前記課題を解決するための第2の手段は、前記第1の手段であって、前記擬似位相整合器が3次の擬似位相整合を用いていることを特徴とするもの(請求項2)である。

【0044】前記第1の手段の説明は、周期を前期式(2)において $m=1$ とした場合のものであるが、前記第1の手段は、 $m=1$ すなわち1次の擬似位相整合の場合に限られるものではなく、さらに高次の擬似位相整合を用いる場合も含むことはいうまでもない。

【0045】本手段においては、擬似位相整合の次数を3次に限定している。本手段においては、例えば、ArFと同じ波長193nmで3次の擬似位相整合をする場合、第二光高調波への変換効率は1次の場合に比べて約9分の1になるが、周期は約5 μm となり、デバイスの作製がより容易になるという利点がある。5次以上の擬似位相整合を用いると、変換効率が急速に低下するので、好ましくない。

【0046】前記課題を解決する第3の手段は、前記第1の手段又は第2の手段であるコヒーレント光光源とする半導体露光装置(請求項3)である。

【0047】本手段においては、前記第1の手段又は第2の手段である光源を用いているので、従来のようにArFエキシマレーザを用いる場合に比して、ガスが不要で小型、低コストの装置とすることができる。

【0048】前記課題を解決するための第4の手段は、前記第1の手段又は第2の手段であるコヒーレント光光源を光源とするレーザ治療装置(請求項4)である。

【0049】本手段においては、前記第1の手段又は第2の手段である光源を用いているので、従来のようにArFエキシマレーザを用いる場合に比して、1パルスあたりのパルスエネルギーを小さくすることができると共に、パルス時間幅を小さくすることができる。よって、露光量の微妙な調整がしやすくなる。また、ガスが不要で小型、低コストの装置とすることができる。

【0050】前記課題を解決するための第5の手段は、前記第1の手段又は第2の手段であるコヒーレント光光源を光源とするレーザ干渉計装置(請求項5)である。

【0051】本手段においては、前記第1の手段又は第

2の手段である光源を用いているので、従来のようにArFエキシマレーザを用いる場合に比して、コヒーレンス長がはるかに長い光が得られ、精度の良い干渉計とすることができる。また、ガスが不要で小型、低コストの装置とすることができる。

【0052】前記課題を解決するための第6の手段は、前記第1の手段又は第2の手段であるコヒーレント光光源を光源とするレーザ顕微鏡装置（請求項6）である。

【0053】本手段においては、前記第1の手段又は第2の手段である光源を用いているので、従来のようにArFエキシマレーザを用いる場合に比して、ガスが不要で小型、低コストの装置とすることができる。

【0054】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の例を図を用いて説明する。

【第1の実施の形態】図1は、本発明の第1の実施形態である波長193nmのレーザ光源を示す概略構成図である。図1において100は、DFB構造を持ちパルス変調されたInGaAsP系半導体レーザである。このレーザは波長1554nmで発振するように不図示の温度調節機構によって温度コントロールされている。

【0055】半導体レーザ100から出射された波長1554nmの光は、シングルモード光ファイバー101中を伝播し、アイソレータ102を通り再びシングルモード光ファイバー101中を伝播する。半導体レーザ103は、波長980nmの光または波長1480nmの光を発振させることができる。半導体レーザ103からの光は、シングルモードファイバー104を通り、光合波装置105で波長1554nmの光と合流し、希土類元素のエルビウム（Er）をドープした光ファイバー106に入射される。ここで、エルビウムドープファイバーは、半導体レーザ103からの光によって励起され、波長1554nmの光を増幅する働きを持つ。

【0056】増幅された光は、光ファイバー端面またはコネクタ端面107より出射光108として空間に出射され、レンズ109によって非線形光学結晶LBO110に入射される。非線形光学結晶LBO110では、第二光高調波が発生する。このLBO110は、タイプ1のnon-critical位相整合をするように、結晶方位 $\theta = 90^\circ$ 、 $\phi = 0^\circ$ でカットされ、結晶温度は約117°Cに保たれている。非線形光学結晶110は、LBO以外に前記水晶、 $\text{Li}:\text{NbO}_3$ 、 $\text{Li}:\text{TaO}_3$ 、KTP（ KTiOPO_4 ）による擬似位相整合結晶で置き換えてもよい。その場合1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期はそれぞれ約34 μm 、約9.3 μm 、約10.4 μm 、約12.6 μm である。前記いずれの場合も、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。

【0057】波長772nmの光111は、レンズ112により非線形光学結晶LBO113に集光され、第二光高

調波発生により波長386nmの光に変換される。LBOは、タイプ1の位相整合をするように、結晶方位 $\theta = 90^\circ$ 、 $\phi = 34.5^\circ$ でカットされている。この非線形光学結晶113をLBOではなく、 GdYCOB （ $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ ）に置き換えてもよい。 GdYCOB では、GdとYとの組成比を変えることで複屈折性を制御することができ、したがって位相整合特性を変えることができる。そのため、GdとYの組成比を適当に変えることにより、結晶方位 $\phi = 90^\circ$ 、 $\theta = 90^\circ$ でタイプ1のnon-critical位相整合による波長772nmの光の第二光高調波変換を実現することができる。この場合、波長772nmでnon-critical位相整合できないLBO結晶による第二光高調波発生よりも高効率でビーム品質の良い波長386nmの光が得られる。

【0058】非線形光学結晶113を、前記水晶、 $\text{Li}:\text{NbO}_3$ 、 $\text{Li}:\text{TaO}_3$ 、KTP（ KTiOPO_4 ）による擬似位相整合結晶で置き換えてもよい。その場合1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期はそれぞれ約9.4 μm 、約1.1 μm 、約1.4 μm 、約1.4 μm である。前記いずれの場合も、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。

【0059】波長386nmの光114は、レンズ115により水晶の擬似位相整合結晶116に集光され、第二光高調波発生により波長193nmの光117に変換される。その場合1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期は、約0.95 μm である。この場合も、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。

【0060】前述したように、水晶による擬似位相整合結晶のみで、最終段の第二光高調波発生を行うことができ、その場合、ビーム品質が高く高効率な波長193nmの光への波長変換が期待できる。また、従来の非線形光学結晶によるものに比べて、光損傷のしきい値が大きく、安価となる。

【0061】【第2の実施の形態】図2は、本発明の第2の実施の形態である波長193nmのレーザ光源を示す概略構成図である。図2において、200は、Arイオン連続波レーザ（波長514.5nm）またはNd:YAG第二光高調波連続波レーザ（波長532nm）である。レーザ200からの光201は、レンズ202によりチタンサファイアレーザ結晶（ $\text{Ti}:\text{Al}_2\text{O}_3$ ）205に集光される。チタンサファイアレーザは、凹面ミラー203、207と、波長選択素子と波長狭帯域化素子からなる光学素子204とレーザ結晶205と非線形光学結晶LBO206から構成されている。

【0062】ここで、凹面ミラー203は波長772nmの光に対して高反射、光201に対して高透過となるようなコーティングが施されている。凹面ミラー207は、波長772nmの光に対して高反射、波長386nmの光に対して高透過となるようなコーティングが施されている。ま

た、レーザは波長選択素子により発振波長772nmとしてある。

【0063】レーザ共振器内部に置かれた非線形光学結晶LBO206により、波長772nmの第二光高調波発生を行う。LBOは、タイプ1の位相整合をするように、結晶方位 $\theta = 90^\circ$ 、 $\phi = 34.5^\circ$ でカットされている。

【0064】この非線形光学結晶206をLBOではなく、GdYCOBに置き換えても良い。GdYCOBでは、GdとYとの組成比を変えることで複屈折性を制御することができ、したがって位相整合特性を変えることが10 できる。

【0065】そのため、GdとYの組成比を適当に変えることにより、結晶方位 $\phi = 90^\circ$ 、 $\theta = 90^\circ$ でタイプ1のnon-critical位相整合による波長772nmの光の第二光高調波変換を実現することができる。この場合、波長772nmでnon-critical位相整合できないLBO結晶による第二光高調波発生よりも、高効率でビーム品質の良い波長386nmの光が得られる。

【0066】また、非線形光学結晶206を、前記水晶、Li: NbO₃、Li: TaO₃、KTP (KTiOPO₄) に20 による擬似位相整合結晶で置き換えてもよい。その場合1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期はそれぞれ約9.4 μ m、約1.1 μ m、約1.4 μ m、約1.4 μ mである。前記いずれの場合も、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。

【0067】非線形光学結晶206で発生した波長386nmの光は、凹面ミラー207を通してレーザ共振器外部に出射される。その波長386nmの光208は、レンズ209により水晶の擬似位相整合結晶211に集光される。水晶の擬似位相整合結晶211は、凹面ミラー210、212からなる共振器の内部の置かれている。こ20 ころ、凹面ミラー210は波長386nmの光に対して部分反射となるようなコーティングが施されている。凹面ミラー212は、波長386nmの光に対して高反射、波長193nmの光に対して高透過となるようなコーティングが施されている。

【0068】この凹面ミラー2枚からなる共振器は、波長386nmの光208に共振するように、不図示の制御回路によりフィードバック制御されている。この場合、共振器内部に波長386nmの強い光が循環し、このことを利用して波長386nmの光の第二光高調波発生を高効率で行う。水晶を用いて1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期は、約0.95 μ mである。この場合、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。この共振器からは、波長193nmの出力光213が出射される。

【0069】本実施の形態においても、水晶による擬似位相整合結晶のみで、最終段の第二光高調波発生を行うことができ、その場合、ビーム品質が高く高効率な波長193nmの光への波長変換が期待できる。また、従来の非40

線形光学結晶によるものに比べて、光損傷のしきい値が大きく、安価となる。

【0070】本実施の形態は、図8に示した従来技術に対応するものであるが、図2と図8を比べると分かるように、本実施の形態においては、非常に単純な構成となっている。したがって、より高効率で低コストの光源を実現することができる。また、レーザ結晶205を、Cr: LiCaF結晶 (LiCaAlF₆) に置き換えてもよい。その場合、励起用レーザ200は可視光半導体レーザ (波長635nmまたは波長670nm) とする。Cr: LiCaF結晶は、発振波長可変でチタンサファイアと同様に、波長選択素子により発振波長を772nmにできる。また、励起に小型、安価な半導体レーザを用いることができるため、チタンサファイアレーザよりもシステム全体の小型化、低価格化が実現できる。

【0071】[第3の実施の形態] 図3は、本発明の第3の実施の形態である193nmレーザ光源を示す概略構成図である。この実施の形態は、前記第2の実施の形態中のチタンサファイアレーザをパルス発振させたものである。

【0072】図3において、300は、Arイオン連続波レーザ (波長514.5nm) またはNd: YAG第二光高調波連続波レーザ (波長532nm) である。レーザ300からの光301は、レンズ302によりチタンサファイアレーザ結晶 (Ti: Al₂O₃) 305に集光される。チタンサファイアレーザは、凹面ミラー303、306と波長選択素子と波長狭帯域化素子からなる光学素子304とレーザ結晶305と、Qスイッチなどのパルス化素子314から構成されて、パルス発振を行う。ここで、凹面ミラー303は波長772nmの光に対して高反射、光301に対して高透過となるようなコーティングが施されている。凹面ミラー306は、波長772nmの光に対して部分反射となるようなコーティングが施されている。また、レーザは波長選択素子により発振波長772nmとしてある。

【0073】凹面ミラー306より出射された波長772nmの光307は、レンズ308により非線形光学結晶LBO309に集光され、第二光高調波発生により波長386nmの光に変換される。LBOは、タイプ1の位相整合をするように、結晶方位 $\theta = 90^\circ$ 、 $\phi = 34.5^\circ$ でカットされている。

【0074】この非線形光学結晶309をLBOではなく、GdYCOBに置き換えてもよい。GdYCOBでは、GdとYとの組成比を変えることで複屈折性を制御することができ、したがって位相整合特性を変えることができる。そのため、GdとYの組成比を適当に変えることにより、結晶方位 $\phi = 90^\circ$ 、 $\theta = 90^\circ$ でタイプ1のnon-critical位相整合による波長772nmの光の第二光高調波変換を実現することができる。この場合、波長772nmでnon-critical位相整合できないLBO結晶による第50

二光高調波発生よりも高効率でビーム品質の良い波長386nmの光が得られる。

【0075】また、非線形光学結晶309を、前記水晶、 $\text{Li}:\text{NbO}_3$ 、 $\text{Li}:\text{TaO}_3$ 、 $\text{KTP}(\text{KTiOPO}_4)$ による擬似位相整合結晶で置き換えてもよい。その場合1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期はそれぞれ約 $9.4\mu\text{m}$ 、約 $1.1\mu\text{m}$ 、約 $1.4\mu\text{m}$ 、約 $1.4\mu\text{m}$ である。前記いずれの場合も、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。

【0076】波長386nmの光310は、レンズ311により水晶の擬似位相整合結晶312に集光され、第二光高調波変換により波長193nmの光313に変換される。その場合1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期は、約 $0.95\mu\text{m}$ である。この場合も、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。

【0077】前述したように、水晶による擬似位相整合結晶のみで、最終段の第二光高調波発生を行うことができ、その場合、ビーム品質が高く高効率な波長193nmの光への波長変換が期待できる。また、従来の非線形光学結晶によるものに比べて、光損傷のしきい値が大きく、安価となる。

【0078】また、レーザ結晶305を、 $\text{Cr}:\text{LiCAF}$ 結晶(LiCaAlF_6)に置き換えてもよい。その場合、励起用レーザ300は可視光半導体レーザ(波長635nmまたは波長670nm)とする。 $\text{Cr}:\text{LiCAF}$ 結晶は、発振波長可変でチタンサファイアと同様に波長選択素子により発振波長772nmとできる。また、励起に小型、安価な半導体レーザを用いることができるため、チタンサファイアレーザよりもシステム全体の小型化、低価格化が実現できる。

【0079】[第4の実施の形態]図4は、本発明の第4の実施の形態である193nmレーザ光源を示す概略構成図である。この実施の形態は、第3の実施の形態中のチタンサファイアレーザをフラッシュランプ励起のアレキサンドライトレーザ($\text{Be}_2\text{Al}_2\text{O}_3$)に置き換えたものである。図4において、アレキサンドライトレーザは、凹面ミラー400、405と波長選択素子401と励起用フラッシュランプ402とレーザ結晶404とQスイッチなどのパルス化素子413から構成され、パルス発振を行う。ここで、凹面ミラー400、405はそれぞれ、波長772nmの光に対して高反射、部分反射となるようなコーティングが施されている。また、レーザは波長選択素子により発振波長772nmとしてある。

【0080】アレキサンドライトレーザから発振された波長772nmの光406は、レンズ407により非線形光学結晶LB0408に集光され、第二光高調波発生により波長386nmの光409に変換される。LB0は、タイプ1の位相整合をするように、結晶方位 $\theta = 90^\circ$ 、 $\phi =$

34.5°でカットされている。

【0081】この非線形光学結晶408を GdYCOB に置き換えてもよいこと、水晶、 $\text{Li}:\text{NbO}_3$ 、 $\text{Li}:\text{TaO}_3$ 、 $\text{KTP}(\text{KTiOPO}_4)$ による擬似位相整合結晶で置き換えてもよいことは、前記第3の実施の形態と同様である。

【0082】波長386nmの光409は、レンズ410により水晶の擬似位相整合結晶411に集光され、第二光高調波変換により波長193nmの光412に変換される。

10 【0083】この実施の形態においても、水晶による擬似位相整合結晶のみで、最終段の第二光高調波発生を行うことができ、その場合、ビーム品質が高く高効率な波長193nmの光への波長変換が期待できる。また、従来の非線形光学結晶によるものに比べて、光損傷のしきい値が大きく、安価となる。

【0084】この実施の形態は、図10に示した従来例に対応するものであるが、図4と図10を比較すると分かるように、本実施の形態においては、和周波混合の必要のない、より単純な構成となっている。したがって、より高効率で低コストの光源を実現することができる

20 [第5の実施の形態]図5は、本発明の第5の実施の形態である193nmレーザ光源を示す概略構成図である。

【0085】図5において、窒化ガリウム系(InGaN)半導体レーザ500は、中心波長386nmで連続波発振するように、不図示の温度制御装置によりフィードバック制御されている。半導体レーザ500より出射された波長386nmの光501は、レンズ502により水晶の擬似位相整合結晶504に集光される。水晶の擬似位相整合結晶504は、凹面ミラー503、505からなる共振器の内部に置かれている。ここで、凹面ミラー503は波長386nmの光に対して部分反射となるようなコーティングが施されている。凹面ミラー505は、波長386nmの光に対して高反射、波長193nmの光に対して高透過となるようなコーティングが施されている。

【0086】この凹面ミラー2枚からなる共振器は、波長386nmの光501に共振するように、不図示の制御回路によりフィードバック制御されている。この場合、共振器内部に波長386nmの強い光が循環し、このことを利用して波長386nmの光の第二光高調波発生を高効率で行う。この共振器からは波長193nmの光506が出射される。水晶を用いて1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期は、約 $0.95\mu\text{m}$ である。この場合、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。半導体レーザからの第二光高調波変換で波長193nmの光を発生させる場合、固体レーザからよるものにくらべて、より小型で低価格が可能である。

【0087】[第6の実施の形態]図6は、本発明の第6の実施の形態である193nmレーザ光源を示す概略構成図である。 GaAlAs 系半導体レーザ600は、中心波長77

2nmで連続波発振するように、不図示の温度制御装置によりフィードバック制御されている。

【0088】半導体レーザ600より出射された波長772nmの光601は、レンズ602により非線形光学結晶LBO604に集光される。非線形光学結晶LBO604は、凹面ミラー603、605からなる共振器の内部に置かれている。LBOは、タイプ1の位相整合をするように、結晶方位 $\theta = 90^\circ$ 、 $\phi = 34.5^\circ$ でカットされている。ここで、凹面ミラー603は波長772nmの光に対して部分反射となるようなコーティングが施されている。凹面ミラー605は、波長772nmの光に対して高反射、波長386nmの光に対して高透過となるようなコーティングが施されている。

【0089】この凹面ミラー2枚からなる共振器は、波長772nmの光601に共振するように、不図示の制御回路によりフィードバック制御されている。この場合、共振器内部に波長772nmの強い光が循環し、このことを利用して波長772nmの光の第二光高調波発生を高効率で行う。前記実施例と同様に、この非線形光学結晶をGdYCOBまたは水晶、Li: NbO₃、Li: TaO₃、KTPによる擬似位相整合結晶で置き換えてもよい。

【0090】非線形光学結晶604で発生した波長386nmの光は、凹面ミラー605を通してレーザ共振器外部に出射される。その波長386nmの光606は、レンズ607により水晶の擬似位相整合結晶609に集光される。水晶の擬似位相整合結晶609は、凹面ミラー608、610からなる共振器の内部の置かれている。ここで、凹面ミラー608は波長386nmの光に対して部分反射となるようなコーティングが施されている。凹面ミラー610は、波長386nmの光に対して高反射、波長193nmの光に対して高透過となるようなコーティングが施されている。

【0091】この凹面ミラー2枚からなる共振器は、波長386nmの光606に共振するように、不図示の制御回路によりフィードバック制御されている。この場合、共振器内部に波長386nmの強い光が循環し、このことを利用して波長193nmの光の第二光高調波発生を高効率で行う。よって、波長193nmの出力光611が得られる。水晶を用いて1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期は、約0.95 μ mである。

【0092】この場合、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である水晶による擬似位相整合結晶のみで、最終段の第二光高調波発生を行うことができ、その場合、ビーム品質が高く高効率な波長193nmの光への波長変換が期待できる。また、従来の非線形光学結晶によるものに比べて、光損傷のしきい値が大きく、安価となる。半導体レーザからの第二光高調波変換で波長193nmの光を発生させる場合、固体レーザからよるものにくらべて、より小型で低価格が可能である。

【0093】[第7の実施の形態]図7は、本発明の第7の実施形態であるNd: YAGレーザ4倍波励起による157nmレーザ光源を示す概略構成図である。図7において、1101は、Qスイッチパルス発振方式のNd: YAGレーザ(発振波長1064nm)である。1104は、前記Nd: YAGレーザからの波長1064nmの光1102を第2光高調波発生により波長532nmの光1105へと変換させる非線形光学結晶である。このような非線形光学結晶としては、例えば前記LBOやBBO、KTP、CLBOなどを用いることができ、あるいは前記水晶の擬似位相整合結晶でもよい。

【0094】1103は、波長1064nmの光に適合するように両面ARコーティングされている集光用レンズである。1107は、波長532nmの光1105を第2光高調波発生により波長266nmの光1108へと変換させる非線形光学結晶である。このような非線形光学結晶としては、例えば前記BBOやCLBOなどを用いることができ、あるいは前記水晶の擬似位相整合結晶でもよい。1106は、波長532nmの光に適合するように両面ARコーティングされている集光用レンズである。

【0095】波長266nmの光1108により、波長可変レーザ結晶Ce: LiCAF(Ce: LiCaAlF₆)1111が光励起される。Ce: LiCAFは、発振波長域280nm~320nmで可変することができ、前記のようにNd: YAGレーザの4倍波を励起光源とする全固体紫外レーザを構成することができる。また、レーザ結晶1111は、Ce: LiCAFとはほぼ同様のレーザ発振特性を持つCe: LiSAF(Ce: LiSrAlF₆)でもよい。

【0096】1110は、波長226nmの光に対して高透過、波長314nmの光に対して高反射の誘電体多層膜コーティングされた凹面ミラーである。1113は、波長314nmの光に対して部分透過の誘電体多層膜コーティングされた凹面ミラーである。1112は、レーザの発振波長を314nmに固定し狭帯域化する波長選択素子である。ミラー1110、1113とレーザ結晶1111、波長選択素子1112によってレーザ発振器が構成される。ミラー1113より出射された波長314nmの光1114は、レンズ1115により水晶擬似位相整合器1116に集光される。

【0097】水晶擬似位相整合器は周期約0.4 μ mで分極反転されており、波長314nmの光1114を、第2光高調波発生によりF₂レーザと同じ波長157nmの光1117を発生させることができる。この場合も、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。さらに、F₂レーザに比べて、ガスが不要であり、かつ小型、低コストの光源を実現することができる。水晶擬似位相整合器を用いた157nm光源は、同193nm光源と同様に半導体露光装置、レーザ治療装置、レーザ加工装置、レーザ干渉計、レーザ顕微鏡、D VDマスタリング装置、光メモリ装置、光造形装置など

の光源として用いることが出来る。

【0098】[第8の実施の形態] 従来のArFエキシマレーザを使用した半導体露光装置において、ArFエキシマレーザ光源の代わりに、前記第1、第3、第4の実施の形態であるパルス発振の193nm光源を用いることができる。また、これらと同様に、前記第7の実施の形態であるパルス発振の157nm光源を用いることもできる。また、前記第2、第5、第6の実施の形態である連続波発振の193nm光源は、レンズまたはウェハアライメント用の光源として用いることができる。本発明の波長193nm

の光源は、ArFエキシマレーザと同じ波長なので、光学系などの設計が最小限で済み、かつ、従来のArFエキシマレーザの欠点を解消することができる。

【0099】[第9の実施の形態] レーザ治療装置、特に視力矯正手術はArFエキシマレーザを光源と用いていた。しかし、1パルスのパルスエネルギーが大きすぎ、かつパルス時間幅が大きくて露光量の微妙なコントロールがし難いという欠点があった。また、手術室内にガスを置かなければいけないので、設備の導入メンテナンスと言う点で問題があった。ArFエキシマレーザ光源を第1、第3、第4の実施の形態であるパルス発振193nm光源、又は前記第7の実施の形態であるパルス発振の157nm光源に置き換えることにより、高繰り返しが可能であり、したがって1パルスのエネルギーが小さく、かつパルス時間幅の小さくて、扱いやすいレーザ治療装置を実現することができる。また、この場合、ガスも不要である。

【0100】[第10の実施の形態] 第1、第3、第4の実施の形態であるパルス発振193nm光源、又は前記第7の実施の形態であるパルス発振の157nm光源を、電子産業におけるプリント基板の穴あけや機械加工などを行うレーザ加工装置の光源として応用できる。この場合、ArFエキシマレーザにくらべ、ガスが不要であり、かつ小型、低コストの装置を実現できる。また、本発明のレーザ光源は、エキシマレーザよりもビーム品質が良いため集光特性が良く効率の良い加工を行うことができる。

【0101】[第11の実施の形態] 第2、第5、第6の実施の形態である連続波発振193nm光源は、ArFエキシマレーザよりもコヒーレンス長がはるかに長いので、レーザ干渉計の光源に応用できる。本発明の光源を組み込んだ測距装置やArFエキシマレーザ用光学素子の波面収差測定用干渉計などの装置が実現できる。また、ArFエキシマレーザにくらべ、ガスが不要であり、かつ小型、低コストの装置を実現できる。

【0102】[第12の実施の形態] 第2、第5、第6の実施の形態である連続波発振193nm光源は、共焦点型のレーザ顕微鏡に組み込み、半導体ウェハの検査、特に従来のArFエキシマステッパーで露光したウェハの検査に用いることもできる。この場合、ArFエキシマレーザにくらべ、ガスが不要であり、かつ小型、低コスト

の装置を実現できる。

【0103】[第13の実施の形態] 第2、第5、第6の実施の形態である連続波発振193nm光源は、DVD（デジタルビデオディスク）のマスタリング装置に組み込むこともできる。この場合、第9の実施の形態と同様に、集光特性が良く、かつガスが不要で、小型、低コストの装置を実現できる。

【0104】[第14の実施の形態] 第2、第5、第6の実施の形態である連続波発振193nm光源は、光メモリ用の光源として利用することができる。この場合、従来にはない短波長の光メモリを構成できる。また、ArFエキシマレーザにくらべ、ガスが不要であり、かつ小型、低コストの装置を実現できる。

【0105】[第15の実施の形態] 第1から第6の実施の形態である連続波発振193nm光源、前記第7の実施の形態であるパルス発振の157nm光源は、光造形装置用の光源として利用することができる。この場合、ArFエキシマレーザにくらべ、ガスが不要であり、かつ小型、低コストの装置を実現できる。

【0106】以上の実施の形態のうち、第1の実施の形態～第7の実施の形態においては、波長が約157nm又は約193nmであるコヒーレント光源について述べたが、レーザ光源と、周期的な双晶構造をもつ水晶よりなる擬似位相整合器を使用し、この擬似位相整合器により、前記レーザ光源より放出されるレーザ光の第二光高調波を発生させ、この第二光高調波の波長が150nm～220nmであるコヒーレント光光源を実現することもできる。

【0107】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、紫外域の波長を有する高効率のコヒーレント光源、特にArFエキシマレーザと同じ波長を持ち、かつ高効率のレーザを、従来にくらべてシンプルな構成で実現できる。

【0108】本発明の光源は、ArFエキシマレーザにより高繰り返し、またはArFエキシマレーザでは不可能であった連続波発振が可能である。また、ガスを使用しないためメンテナンス性、コストの点からも優れている。また、消費電力、装置の小型化という点においても勝っている。さらに、波長狭帯域化が可能でビーム品質が良いため用途が広がる。さらに、従来あるArFエキシマレーザを光源として装置の光源のみを置き換えることができ、装置全体の設計変更が少ないという利点がある。

【0109】また、この本発明の光源は、従来の固体レーザからの光を和周波混合して得られる波長193nmの光源にくらべて、非線形光学結晶の個数つまり波長変換の段数が減り、よりシンプルかつ小型かつ低コストの光源を実現することができる。そして、和周波混合における光の分離用ミラーや合波用ミラーが不要となり、アライメントの手間が大幅に少なくなる。また、光学系によって必要である入射光の偏光方向を合わせるための波長板

も不要になる。また、和周波混合におけるWalk-Offなどがないため、ビーム品質の良い光源を得ることができる。

【0110】本発明のコヒーレント光光源を光源とする本発明のレーザー応用装置は、前記のような本発明のコヒーレント光光源の特徴を生かすことができ、それぞれ、課題を解決する手段で述べたような作用効果を奏することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明第1の実施の形態であるレーザー光源を示す概略構成図である。

【図2】本発明第2の実施の形態であるレーザー光源を示す概略構成図である。

【図3】本発明第3の実施の形態であるレーザー光源を示す概略構成図である。

【図4】本発明第4の実施の形態であるレーザー光源を示す概略構成図である。

【図5】本発明第5の実施の形態であるレーザー光源を示す概略構成図である。

【図6】本発明第6の実施の形態であるレーザー光源を示す概略構成図である。

【図7】本発明第7の実施の形態であるレーザー光源を示す概略構成図である。

【図8】従来のレーザー光源の例を示す概略構成図である。

【図9】従来のレーザー光源の例を示す概略構成図である。

【図10】従来のレーザー光源の例を示す概略構成図である。

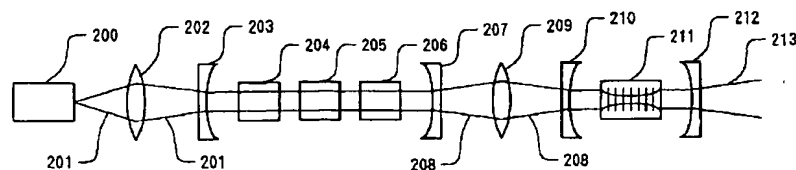
【図11】非線形光学結晶中でのビーム伝播の様子を示す模式図である。

【符号の説明】

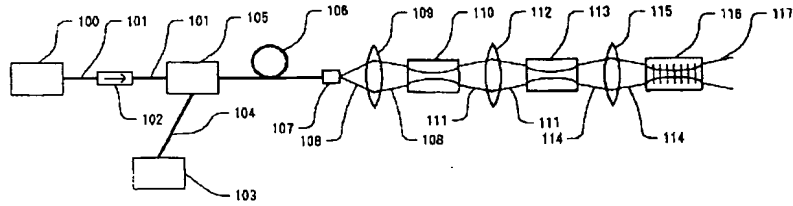
100…半導体レーザー、101…シングルモード光ファイバー、102…アイソレータ、103…半導体レーザー、104…シングルモードファイバー、105…光合波装置、106…光ファイバー、107…光ファイバー端面またはコネクタ端面、108…波長1554nmの射出光、109…レンズ、110…非線形光学結晶LBO、111…波長772nmの光、112…レンズ、113…非 *

*線形光学結晶LBO、114…波長386nmの光、115…レンズ、116…水晶の擬似位相整合結晶、117…波長193nmの光、200…レーザ、201…レーザー射出光、202…レンズ、203…凹面ミラー、204…光学素子、205…レーザ結晶、206…非線形光学結晶LBO、207…凹面ミラー、208…波長386nmの光、209…レンズ、210…凹面ミラー、211…水晶の擬似位相整合結晶、212…凹面ミラー、213…193nmの光、300…レーザ、301…レーザ光、302…レンズ、303…凹面ミラー、304…光学素子、305…レーザ結晶、306…凹面ミラー、307…波長772nmの光、308…レンズ、309…非線形光学結晶LBO、310…波長386nmの光、311…レンズ、312…水晶の擬似位相整合結晶、313…波長193nmの光、314…パルス化素子、400…凹面ミラー、401…波長選択素子、402…励起用フラッシュランプ、403…励起光、404…レーザ結晶、405…凹面ミラー、406…波長772nmの光、407…レンズ、408…非線形光学結晶LBO、409…波長386nmの光、410…レンズ、411…水晶の擬似位相整合結晶、412…波長193nmの光、500…半導体レーザー、501…波長386nmの光、502…レンズ、503…凹面ミラー、504…水晶の擬似位相整合結晶、505…凹面ミラー、506…波長193nmの光、600…半導体レーザー、601…波長772nmの光、602…レンズ、603…凹面ミラー、604…非線形光学結晶LBO、605…凹面ミラー、606…波長386nmの光、607…レンズ、608…凹面ミラー、609…水晶の擬似位相整合結晶、610…凹面ミラー、611…波長193nmの出力光、1101…レーザ、1102…波長1064nmの光、1103…集光用レンズ、1104…非線形光学結晶、1105…波長532nmの光、1106…集光用レンズ、1107…非線形光学結晶、1108…波長266nmの光、1109…集光用レンズ、1110…凹面ミラー、1111…波長可変レーザ結晶、1112…波長選択素子、1113…凹面ミラー、1114…波長314nmの光、1115…レンズ、1116…水晶擬似位相整合器、1117…波長157nmの光

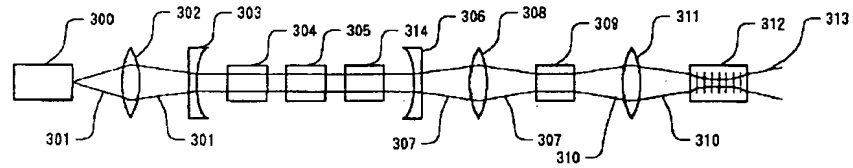
【図2】



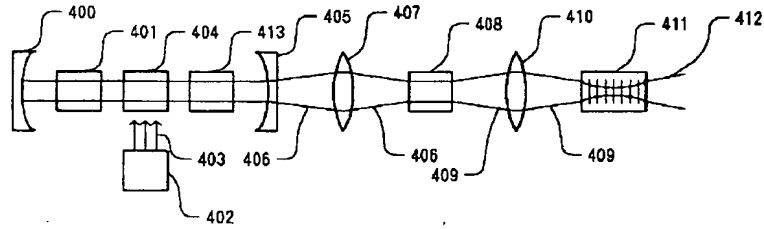
【図1】



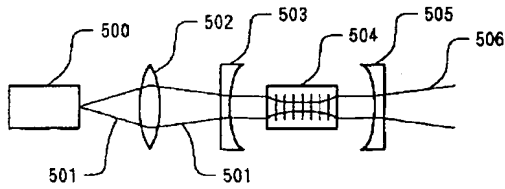
【図3】



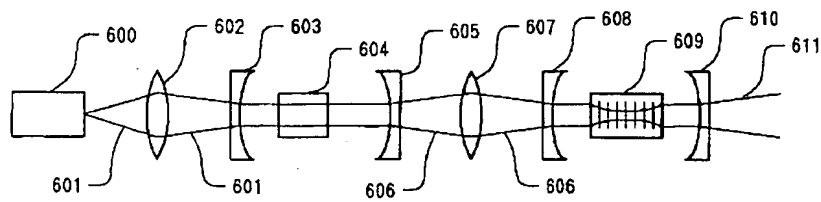
【図4】



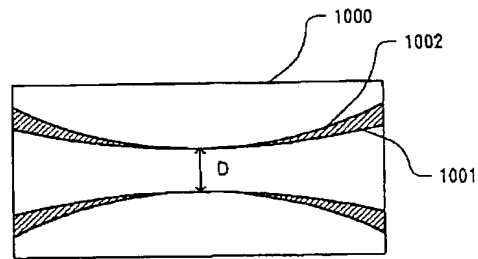
【図5】



【図6】



【図11】



フロントページの続き

| (51)Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テーマコード (参考) |
|--------------------------|-------|---------------|-------------------|
| G 0 3 F 7/20 | 5 0 2 | H 0 1 S 3/109 | 5 F 0 4 6 |
| H 0 1 L 21/027 | | H 0 1 L 21/30 | 5 1 5 B 5 F 0 7 2 |
| H 0 1 S 3/109 | | A 6 1 B 17/36 | 3 5 0 |

F ターム (参考) 2F064 AA00 CC05 CC10 FF02 FF05
 GG02 KK04
 2H052 AA08 AC12 AC26 AC27 AC33
 AC34 BA01 BA02 BA03 BA06
 BA12
 2H097 CA13 LA10
 2K002 AA04 AA07 AB12 BA02 BA03
 CA02 CA03 EA07 GA04 HA20
 4C026 AA01 BB06 BB07 FF02 HH14
 5F046 CA03 CA08 CB01 CB03 CB04
 CB22
 5F072 AB02 AB05 AB09 AB13 AB20
 AK06 KK12 KK30 MM07 PP07
 QQ02 YY01 YY09 YY13

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第6部門第2区分
 【発行日】平成14年7月19日(2002.7.19)

【公開番号】特開2002-122898(P2002-122898A)
 【公開日】平成14年4月26日(2002.4.26)
 【年通号数】公開特許公報14-1229
 【出願番号】特願2001-194176(P2001-194176)
 【国際特許分類第7版】

G02F 1/37
 A61B 18/20
 G01B 9/02
 G02B 19/00
 21/06
 G03F 7/20 502
 H01L 21/027
 H01S 3/109

【F1】

G02F 1/37
 G01B 9/02
 G02B 19/00
 21/06
 G03F 7/20 502
 H01S 3/109
 H01L 21/30 515 B
 A61B 17/36 350

【手続補正書】

【提出日】平成14年2月27日(2002.2.27)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】発明の名称

【補正方法】変更

【補正内容】

【発明の名称】 コヒーレント光光源、半導体露光装置、レーザ干渉計装置、レーザ顕微鏡装置

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光源と、周期的な双晶構造を持つ水晶よりなる擬似位相整合器とを有してなり、前記擬似位相整合器により、前記レーザ光源より放出されるレーザ光の第二光高調波を発生させ、この第二光高調波であって波長が約193nmの光を主成分とする光を出力とすることを特徴とするコヒーレント光光源。

【請求項2】 前記擬似位相整合器が3次の擬似位相整

合を用いていることを特徴とする請求項1に記載のコヒーレント光光源。

【請求項3】 請求項1又は請求項2に記載のコヒーレント光光源を光源とする半導体露光装置。

【請求項4】 請求項1又は請求項2に記載のコヒーレント光光源を光源とするレーザ干渉計装置。

【請求項5】 請求項1又は請求項2に記載のコヒーレント光光源を光源とするレーザ顕微鏡装置。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正内容】

【0030】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための第1の手段は、レーザ光源と、周期的な双晶構造を持つ水晶よりなる擬似位相整合器とを有してなり、前記擬似位相整合器により、前記レーザ光源より放出されるレーザ光の第二光高調波を発生させ、この第二光高調波であって波長が約193nmの光を主成分とする光を出力とすることを特徴とするコヒーレント光光源(請求項1)である。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正内容】

【0040】波長が約193nmである光は、現在でもArFエキシマレーザの出力として広く使用されている。よって、本手段は、既存の装置の光学系を変えことなく、ArFエキシマレーザの代用として使用することができる。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0042

【補正方法】変更

【補正内容】

【0042】なお、本手段及び請求項1において、約193nmというのは、出力される光の波長は厳密に193nmでなくともよく、現在公知のArFエキシマレーザが有する程度の、波長中心値のずれと波長分布を有するものも、本発明の範囲に含まれることを示すものである。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】削除

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0049

【補正方法】削除

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0050

【補正方法】変更

【補正内容】

【0050】前記課題を解決するための第4の手段は、前記第1の手段又は第2の手段であるコヒーレント光光源を光源とするレーザ干渉計装置（請求項4）である。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0052

【補正方法】変更

【補正内容】

【0052】前記課題を解決するための第5の手段は、前記第1の手段又は第2の手段であるコヒーレント光光源を光源とするレーザ顕微鏡装置（請求項5）である。

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第6部門第2区分
 【発行日】平成15年2月13日(2003. 2. 13)

【公開番号】特開2002-122898(P2002-122898A)
 【公開日】平成14年4月26日(2002. 4. 26)
 【年通号数】公開特許公報14-1229
 【出願番号】特願2001-194176(P2001-194176)
 【国際特許分類第7版】

G02F 1/37
 A61B 18/20
 G01B 9/02
 G02B 19/00
 21/06
 G03F 7/20 502
 H01L 21/027
 H01S 3/109

【F I】

G02F 1/37
 G01B 9/02
 G02B 19/00
 21/06
 G03F 7/20 502
 H01S 3/109
 H01L 21/30 515 B
 A61B 17/36 350

【手続補正書】

【提出日】平成14年11月15日(2002. 11. 15)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0032

【補正方法】変更

【補正内容】

【0032】非線形光学結晶での第二光高調波発生においては、屈折率分散のため基本波と第二光高調波が結晶中を伝播するにつれて、位相差が現れる。この位相差が π になるまで変換効率が增大するが、位相差がそれ以上大きくなると減少し、この周期で増減する。位相差が π になる距離をコヒーレンス長 L_c と言い、以下の式で表される。

$$L_c = \lambda / \{4(n_{2\omega} - n_{\omega})\} \quad \dots (1)$$

ここで、 λ は波長、 $n_{2\omega}$ は波長 $\lambda/2$ の時の屈折率、 n_{ω} は波長 λ の時の屈折率をそれぞれ表す。通常非線形光学結晶の長さはコヒーレンス長よりもはるかに大きい。そのため、結晶長を有効に使い変換効率をさらに向上させる方法が、2通り行われている。1つは、結晶の複屈折性を利用し $n_{2\omega} = n_{\omega}$ となるように、レーザ光の入射方向(結晶カット角)、偏光方向を調整す

る方法である。前述した従来例の非線形光学結晶は、この方法を利用している。ただし、第二光高調波変換による波長193nmの光を発生させることができる実用的な結晶は、前述のように現在のところ存在していない。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正内容】

【0034】この擬似位相整合法を実現するための分極反転の周期 d は、下記の式で表される。

$$d = m\lambda / \{4(n_{2\omega} - n_{\omega})\} \quad \dots (2)$$

ここで、 m は次数(整数)、 λ は波長、 $n_{2\omega}$ は波長 $\lambda/2$ の時の屈折率、 n_{ω} は波長 λ の時の屈折率をそれぞれ表す。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0075

【補正方法】変更

【補正内容】

【0075】また、非線形光学結晶309を、前記水晶、 Li:NbO_3 、 Li:TaO_3 、 $\text{KTP}(\text{KTiOPO}_4)$ に

よる擬似位相整合結晶で置き換えてもよい。その場合1次の擬似位相整合を行うとすると、分極反転の周期はそれぞれ約 $9.4\mu\text{m}$ 、約 $1.1\mu\text{m}$ 、約 $1.4\mu\text{m}$ 、約 $1.4\mu\text{m}$ で

ある。前記いずれの場合も、Walk-Off効果がなく、高効率でビーム品質の良い第二光高調波発生が可能である。